

Una secuencia didáctica de modelización, indagación y creación del conocimiento científico en torno a la deriva continental y la tectónica de placas

Jordi Domènech Casal^{1,2}

¹*Institut de Vilanova, Vilanova del Vallès*

²*Grup LIEC, Departament de Didàctica de les Matemàtiques i les Ciències, Universitat Autònoma de Barcelona. España.*

[Recibido en junio de 2014, aceptado en octubre de 2014]

Se describe una actividad de indagación sobre la Tectónica de placas. En ella, el alumnado debe reconstruir la historia geológica de un planeta imaginario integrando distintos tipos de datos (distribución geográfica de fósiles, antigüedad de orógenos, regiones sísmicas) para construir un modelo de la ubicación de los límites de placa tectónica y los cambios que han sufrido los distintos continentes. A lo largo de la actividad se suceden distintas organizaciones de aula y andamios didácticos, con el objetivo de promover dinámicas de creación de conocimiento científico y la sistematización del aprendizaje y la consecución del objetivo final: realizar un breve vídeo de divulgación científica sobre la historia geológica de este planeta imaginario.

Palabras clave: indagación; comunicación científica; ECBI; Tectónica de placas; Deriva continental; Wegener.

A didactic sequence on inquiry, modelling and creation of scientific knowledge on Plate Tectonics and Continental Drift

The article describes an Inquiry didactic sequence on Plate Tectonics. Students are asked to reconstruct the geologic evolution of an imaginary planet by correlating different kinds of data (geographic distribution of fossils, orogens age, seismic regions...) discovering the positions of the plates and the changes suffered by the continents. Though the activity, several classroom dynamics and didactic scaffolds are set to promote dynamics of creation of scientific knowledge and contents sistematization to reach the final goal: to perform a science dissemination video describing the geological history of this imaginary planet.

Keywords: inquiry; science communication; IBSE; Plate Tectonics; Continental Drift; Wegener.

Introducción

El modelo científico propuesto por Alfred Wegener sobre la historia geológica de la posición y forma de los continentes constituye un elemento clave de nuestra visión sobre el comportamiento y los mecanismos geológicos que actúan en nuestro planeta. Wegener observó a partir de varios tipos de datos (paleontológicos, paleomagnéticos, climáticos, orogénicos...), pertenecientes a distintos períodos geológicos, correspondencias entre continentes alejados entre sí en la actualidad. Estudiando estas correspondencias, Wegener propuso que los distintos continentes actuales habrían formado parte en el pasado de un único continente ancestral (Pangea) del que se habrían ido separando en un movimiento que continúa en la actualidad. Esta teoría, que fue en su momento muy controvertida, constituyó la semilla de la Teoría de la Deriva Continental hoy plenamente aceptada por la comunidad científica, así como su mecanismo y motor, la Tectónica de Placas, y forma parte importante del currículum de distintas materias de Ciencias de la Tierra en la ESO, donde se incide también en las consecuencias que este comportamiento de la litosfera terrestre y sus manifestaciones asociadas (dorsales oceánicas, vulcanismo, orogenia, sismicidad,...) tiene en la configuración del relieve y los riesgos geológicos.

El caso de Wegener tiene, además, el valor añadido de constituir un ejemplo evidente y comprensible para el alumnado del uso de pruebas y la integración de datos de distintos tipos y formatos (fósiles, orogenia, paleomagnetismo,...) y la controversia científica en la construcción de un modelo científico global que explique las evidencias (García, 2012; Álvarez, 2012; Pérez-Malvárez, Bueno-Hernández y Ruiz Gutiérrez, 2012), y las relaciones con mecanismos tectónicos, como muestran varias actividades didácticas descritas por otros autores (González, 1998)

Por esta razón, en las aulas y libros de texto se recurre a menudo a las evidencias fósiles como ilustración del modelo de la Deriva Continental, como explicación en un formato de ejemplo demostrativo. Aún así, persisten entre el alumnado concepciones erróneas, como la identificación de las placas litosféricas con los continentes, o la confusión entre orógenos y dorsales (Marques, 1998).

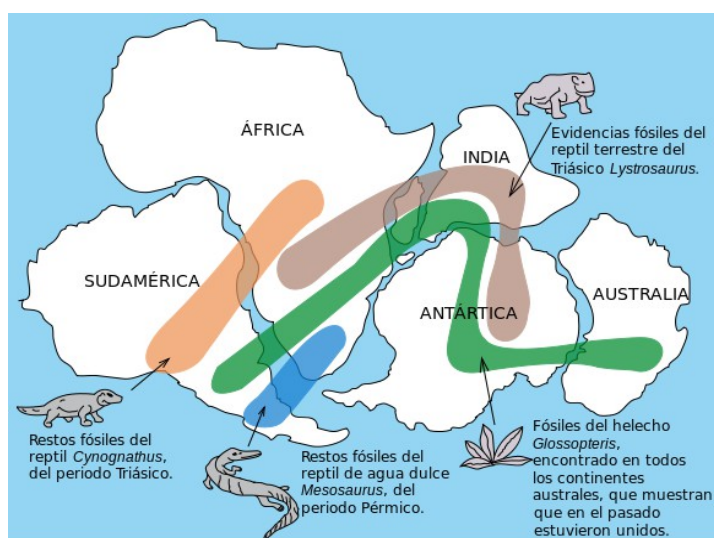


Figura 1. Gráfico ilustrativo del uso de la distribución de fósiles para reconstruir la historia geológica de la Tierra en lo que respecta a la posición y forma de los continentes. Imagen perteneciente al dominio público, procedente del Servicio Geológico de EEUU.

Las estrategias de enseñanza de las ciencias basadas en la indagación (ECBI) proponen que el alumnado participe en la elaboración de modelos científicos o la interpretación de datos mediante la metodología científica. Según varios autores, estas estrategias constituyen una vía idónea para promover el interés del alumnado y un aprendizaje más significativo (Osborne y Dillon, 2008; Rocard, Csermely, Jorde, Lenzen y Walberg-Heriksson 2006; Hodson, 1994; Caamaño, 2012), que sea transferible a nuevas situaciones o contextos. La estructura estándar de las secuencias didáctica ECBI

(Bogner, Boudalis y Sotiriou, 2012) se articula en varios pasos que atienden distintos procesos científicos:

- 1) Formular preguntas investigables.
- 2) Dar prioridad a la observación.
- 3) Analizar la observación.
- 4) Formular una explicación basada en las observaciones.
- 5) Conectar la explicación con los modelos y conocimientos científicos.
- 6) Comunicar y justificar la explicación.
- 7) Reflexionar sobre el proceso.

Lange y Zawicki (2012) y García (1996) describen que las actividades sobre tectónica de placas que intentan abordar el tema desde una perspectiva investigadora (donde se invierte la secuencia y los alumnos instrumentalizan los datos para construir un modelo científico explicativo), cercana a la ECBI, suelen dejar de lado la integración de datos de distintos tipos,

el proceso dialógico-histórico y el aspecto serendípico y social de la creación del conocimiento científico.

El proyecto C3¹ (Creación del Conocimiento Científico) que desarrollamos en el centro educativo tiene por objetivos que el alumnado entienda la naturaleza de la ciencia, adquiera habilidades científicas y desarrolle un posicionamiento científico crítico. Con estos objetivos, el proyecto propone como estrategias la enseñanza de las ciencias mediante la indagación (ECBI), el uso de andamios lingüísticos, y el trabajo en contextos que emulen y estimulen procesos de creación del conocimiento científico. En este marco, se ha desarrollado y testado una secuencia didáctica alrededor de la tectónica de placas que se presenta junto con una valoración de su aplicación y evidencias recogidas del aprendizaje del alumnado.

Diseño y aplicación de la actividad

La actividad se desarrolló y aplicó con dos grupos de 16 alumnos de 4º de ESO de la materia optativa de Biología y Geología durante el curso 2013-2014 en el instituto de Vilanova, de Vilanova del Vallès, y sus materiales están disponibles (en inglés) en la página creada a propósito² siguiendo el formato WebQuest propuesto por Bernie Dodge (1995).

Contenidos

- Alfred Wegener y la Deriva Continental. Interpretación de datos de Paleomagnetismo y registro fósil.
- Teoría de la Tectónica de placas: Estructura de la Tierra. Asociación de tipos de límites de placa y sus manifestaciones asociadas.
- Ciclo de las rocas. Establecimiento de relaciones entre tipos de rocas (sedimentarias, magmáticas, metamórficas) e historia geológica.
- Períodos geológicos. Uso de fósiles guía para la datación de sucesos geológicos.

Criterios de evaluación

- Interpretar conjuntamente datos geológicos de distintos tipos para obtener evidencias.
- Extraer conclusiones a partir de evidencias.
- Construir modelos y explicaciones geológicas a partir de conclusiones científicas, estableciendo el grado de certeza (posible/probable/seguro...).
- Asociar formaciones de la corteza terrestre a procesos tectónicos.
- Hacer predicciones a partir de una Teoría Científica.
- Comunicar y argumentar científicamente.
- Usar claves de divulgación científica para crear vídeos científicos.

Secuencia didáctica

Se plantea a los alumnos que descubran cuál ha sido la historia geológica de los continentes de un mundo imaginario y la describan mediante un vídeo de formato científico, junto con su hipótesis de la ubicación y tipología de los límites de placas tectónicas. La actividad tiene una duración de 12 sesiones de una hora y se divide en etapas que perfilan la estructura estándar de

¹Proyecto C3, Creación del Conocimiento Científico <https://sites.google.com/a/xtec.cat/c3/home>

²Gondwana Tales, materiales didácticos y hojas de trabajo <https://sites.google.com/a/xtec.cat/gondwanatales/>

la ECBI, en las que se proporcionan paulatinamente evidencias parciales, que los alumnos deben interpretar con la ayuda de guías y eventos de creación social de conocimiento.

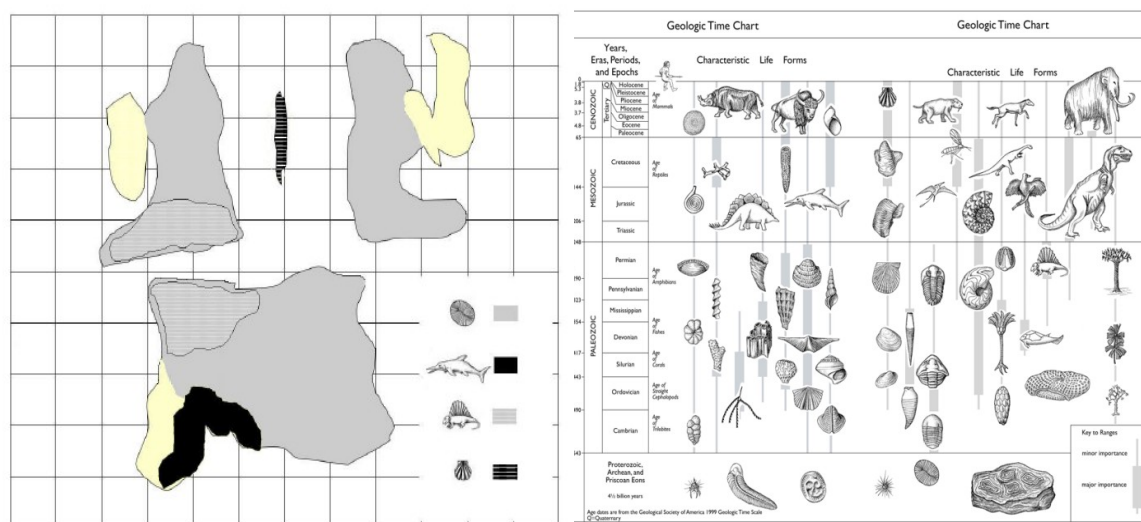


Figura 2. Las evidencias se proporcionan en forma de fichas y guías para su análisis. En la figura, datos relativos a la distribución de fósiles de distintas épocas, junto con una cronología de fósiles guía³ para situar la información geográfica de cada fósil en su período geológico.

La actividad ofrece evidencias agrupadas en ocho fichas, cuatro relativas a la distribución geográfica de fósiles y cuatro relativas a la distribución geográfica de otros fenómenos asociados a la tectónica de placas (vulcanismo y sismicidad, paleomagnetismo, tipos de rocas y distribución y antigüedad de orógenos). Para la creación de las fichas se ha partido de una propuesta imaginaria inicial de distribución y límites de placas y se ha simulado de modo cualitativo su evolución a lo largo de cuatro períodos geológicos, generando a partir de esa simulación las evidencias. La simulación usada para generar las evidencias no se ofrece (ni se ofrecerá), por razones que se exponen en la conclusión de este artículo.

La actividad sigue el **protocolo de trabajo por proyectos de indagación TpoP⁴**, alternando distintas organizaciones sociales del aula, según el objetivo pedagógico.

1) **Talleres⁵**: sesiones breves en gran grupo, de una duración de 15 minutos, en las que el profesor explica de modo teórico (transmisión) conceptos o procesos (un taller para cada contenido citado en la introducción), con mucha atención al vocabulario científico y **sin explicitar la relación con el proyecto**.

2) **Portfolio**: sesiones breves de 15 minutos (al menos 3, distribuidas a lo largo del proyecto) de trabajo individual, en las que se pide a los alumnos que elaboren su portfolio, en el que deben incluir los elementos (breves frases representando ideas o conceptos que aprenden), artefactos (dibujos, esquemas u otras representaciones de procesos que aprenden) y reflexiones personales sobre el proceso.

3) **Proyecto**: ocupa la mayor parte del tiempo. Trabajo de indagación por equipos de 3 alumnos, autónomo. El profesor no resuelve preguntas directamente relacionadas con el proyecto, sólo las devuelve reformuladas.

³Esquema de fósiles guía extraído de: <http://crystal.isgs.uiuc.edu/maps-data-pub/publications/beg-fossils/images/geologic-time.gif>

⁴Una descripción genérica y justificación del protocolo TPoP disponible en: [<http://bit.ly/SsBCHH>]

⁵La denominación como “Taller” no significa que éstos sean de naturaleza práctica, sino que son focalizados a aspectos, conceptos o habilidades concretos, en forma de cápsula de formación aislada.

Etapa 1: Analizar evidencias, extraer conclusiones de datos

En esta primera etapa se proporciona a cada equipo cuatro de las fichas con evidencias (aleatoriamente, asegurando que no existen dos equipos que dispongan de las mismas evidencias). El objetivo de esta etapa es que los alumnos integren distintos tipos de datos y establezcan relaciones entre los fenómenos y sus causas posibles, partiendo del modelo científico de la tectónica de placas.

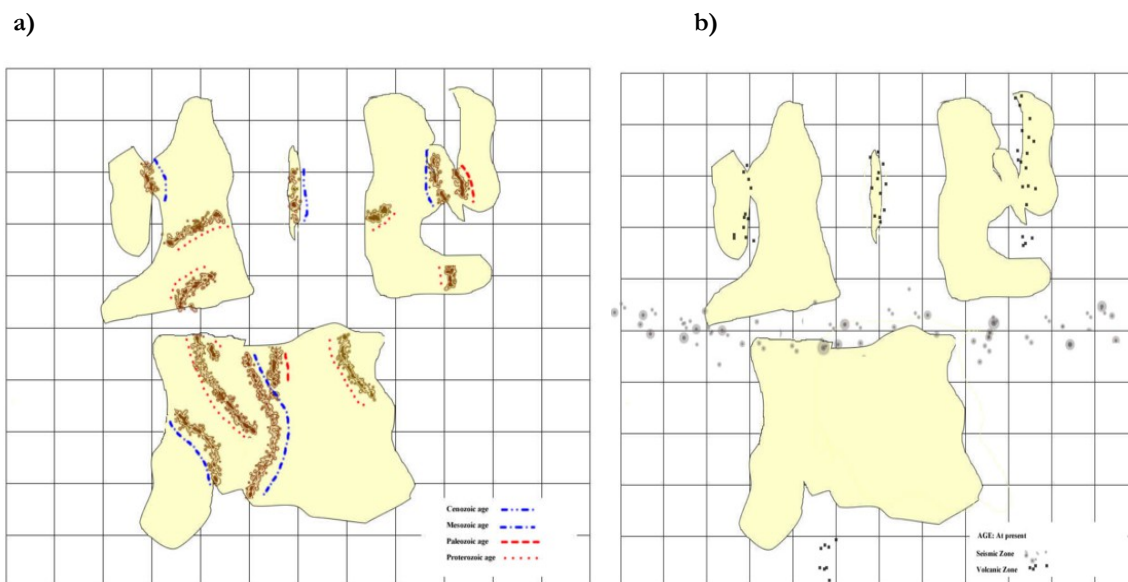


Figura 3. Junto con los fósiles, se proporcionan también evidencias en relación con los mecanismos del movimiento de los continentes, por ejemplo: a) la posición relativa y antigüedad de los orógenos o b) las zonas de alta sismicidad o vulcanismo.

En esta etapa, al ser los indicios insuficientes, los alumnos pueden construir sólo un modelo parcial y provisional de lo acontecido. Como apoyo al análisis, se celebra un primer taller sobre Alfred Wegener y la Deriva Continental, paleomagnetismo y registro fósil.

En cada ficha de evidencias se incluye una breve tabla con conectores gramaticales e iniciadores de frase destinada a articular el razonamiento científico, que los alumnos deben completar.

| Partiendo de la evidencia... A partir de la prueba... (descripción, situación e identificación de evidencias) | Concluimos que probablemente... Se induce que... Esto significaría que... (Qué indican esas evidencias) | Y por lo tanto..., en consecuencia, porque/aunque...también/sin embargo.... (implicaciones para el modelo general y conexión con otras evidencias) |
|--|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Lo que permanece sin explicar...no sabemos todavía... (nuevas preguntas que aparecen de las conclusiones, qué tipo de datos serían de utilidad para resolverlas?) 4 | | |

Tabla 1- Los distintos apartados del andamio lingüístico promueven la estructuración del discurso, partiendo de unos datos (1), para generar una conclusión parcial (2), con implicaciones en el modelo general (3) y una exposición de qué datos serían necesarios para completar la información (4). El objetivo de esta estructura es orientar el razonamiento hacia la construcción de un modelo global el análisis de las evidencias y ejercitar el diseño de experimentos al proponer a los alumnos plantearse qué otras evidencias necesitarían para corroborar/desmentir ese modelo.

Etapa 2: Comunicar y argumentar científicamente

En esta etapa, cada equipo envía uno de sus miembros a otro equipo y recibe un nuevo miembro que proviene de otro equipo: son los científicos visitantes, que permanecen en su nuevo equipo hasta el final de la actividad. En este evento de comunicación científica informal se producen discusiones interesantes, pues el nuevo miembro acude con una visión del proceso geológico (pero sin los datos que lo sustenten, pues cada equipo inicia la primera etapa con datos distintos) que se contrapone/complementa con la del equipo receptor, lo que significa una mirada distinta sobre los datos del equipo receptor. Antes de continuar deben consensuar un primer modelo del proceso geológico sufrido por los continentes del planeta, tras lo cual reciben las cuatro fichas restantes, en dos tandas de análisis, de dos fichas cada una. A lo largo de esta etapa se llevan a cabo los tres talleres restantes.



Figura 4. En la discusión científica, los alumnos instrumentalizan el vocabulario científico para contrastar modelos explicativos elaborados a partir de evidencias. En la imagen, los alumnos modelizan con las manos los movimientos de las placas tectónicas que explicarían lo observado.

Etapa 3: Integrar evidencias y construir un modelo científico explicativo

En esta etapa, se pide a los alumnos que a partir de los análisis realizados elaboren una propuesta de modelo explicativo, incluyendo:

- La ubicación y tipología de los límites de placa.
- La posición y forma de los continentes en cada una de los cuatro períodos geológicos.
- Una predicción futura de la posición y forma de los continentes en el siguiente período geológico, junto con los eventos asociados (aparecerán nuevas zonas volcánicas, nuevos orógenos?...).

De forma espontánea, los alumnos solicitaron al finalizar esta etapa una puesta en común y discusión general, que se lleva a cabo en un debate auto-organizado por el alumnado. La discusión general entre equipos no estaba prevista



Figura 5. Discusión general entre equipos.

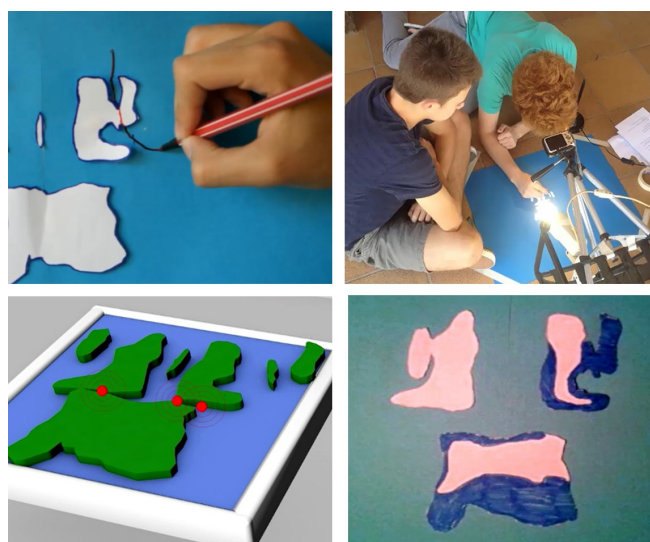
inicialmente en la actividad, pero ha constituido un foro valioso en el que el alumnado ha participado, incluso apasionadamente, contrastando los modelos obtenidos por los distintos equipos. Aún con distintas visiones, terminada la discusión general, cada equipo trabaja en la elaboración de su modelo. Es importante mencionar que al final de la actividad no se proponen al alumnado modelos “correctos” con los que contrastar su modelo, dado que eso eliminaría la incertidumbre inherente a la investigación (y la vida) real. Educar científicamente debe consistir en empoderar al alumnado para gestionar la incertidumbre y no en transmitir una falsa sensación de certidumbre. Si en la ciencia real, la máxima certeza la proporcionan las buenas preguntas y procesos, en la escuela, el profesorado debe centrarse en ayudar a formular buenas preguntas y cuestionarse la validez de los procesos. Se ha explicitado al alumnado esta visión, y ante el requerimiento del alumnado sobre si la respuesta es correcta o no, la respuesta escogida ha sido: ¿A ti qué te parece? ¿Por qué? Esta falta del “modelo correcto” que suele culminar algunas actividades didácticas constituye uno de los elementos identitarios del proyecto C3 y ha sido aplicada anteriormente en actividades previas con los alumnos participantes.

Etapa 4: Comunicar científicamente

Se propone a los distintos equipos elaborar un vídeo científico de una duración de 3 minutos en el que describan, de modo divulgativo, pero con rigor científico, los tres puntos desarrollados en el modelo explicativo en el apartado anterior. Además, el vídeo debe exponer una parte del modelo en la que no haya sido posible llegar a ninguna conclusión (o sea poco fiable) y explicar porqué.

La creación del vídeo es una propuesta abierta que promueve el desarrollo de soluciones creativas por parte del alumnado, en distintos formatos: grabaciones por fotograma, animaciones, modelos elaborados... El requisito de incluir el vocabulario específico de la actividad, aunque valorado como excesivo por los alumnos, consigue instrumentalizar y contextualizar los términos en un modelo científico creado por ellos mismos, promoviendo la transferencia.

Para garantizar el rigor científico, se establece que el vídeo debe contener los términos de vocabulario claves del tema, y que éstos deben ser explicados/ilustrados en el vídeo, pues se dirige a un público general. La intención de este paso en el proceso es orientar la indagación hacia la comunicación científica y la sistematización, ya que activar o promover las habilidades cognitivo-lingüísticas incide positivamente en la activación del razonamiento y la modelización (Sanmartí Izquierdo y García, 1999).



continental drift, subduction zone, rift valley, oceanic dorsal, plate tectonics, seismic events, earthquakes, volcanoes, orogen, constructive limits, destructive limits, transformant limits, convergent, divergent, Pangea, Laurasia, Gondwana, magmatic rocks, metamorphic rocks, convection movements, mantle, oceanic crust, continental crust, volcano island arc, paleomagnetism, fossil distribution, Wegener, Wilson, Proterozoic, Paleozoic, Mesozoic, Cenozoic

Figura 6. Imágenes de vídeos y términos usados.

Resultados

A lo largo de la actividad, se recogieron observaciones en el aula, producciones del alumnado (fichas, portfolios y vídeo) y conversaciones informales con el alumnado. Se comentan de forma cualitativa para valorar las estrategias didácticas empleadas y las situaciones de interés con respecto a la Naturaleza de la Ciencia.

Adquisición de habilidades y conocimientos científicos y estrategias didácticas

La actividad generó un gran interés entre el alumnado, algo ya descrito por otros autores como implicación pedagógica de las actividades ECBI, en las que se sitúa al alumno un rol indagador, (Rocard *et al*, 2006; España, Rueda y Blanco, 2013). La actividad está diseñada para ejercitar habilidades científicas (elaborar hipótesis, sacar conclusiones de datos, diseñar experimentos...) en contexto y promover que los conceptos se adquieran mediante su instrumentalización y su transferencia a un contexto concreto, algo que reclaman también otros autores (Pedrinaci, Caamaño, Cañal y de Pro, 2012; Sanmartí, Burgoa y Nuño, 2011). De hecho, en el desarrollo de la actividad, por su diseño abierto, algunos alumnos han llegado a plantearse retos, problemas o estrategias no contemplados por el profesor en el diseño inicial:

- Asociar la presencia de fósiles de animales acuáticos en los continentes a una pretérita posición sumergida, conectando la tectónica con el clima y el nivel del mar e introduciendo la propuesta de los movimientos isostáticos.
- Dar nombre a cada una de las placas tectónicas para explicarse mejor.
- Considerar, según su fisiología, la capacidad de cada especie de migrar atravesando el mar.
- Deducir islas no previstas inicialmente, pero que suponen una explicación razonable.
- Plantearse si los límites de placa pueden variar con el tiempo, o si las placas pueden cambiar su dirección de movimiento.

Las fichas de análisis muestran una buena comprensión de la relación entre los fenómenos observables y su interpretación a la luz de la Deriva Continental y la Tectónica de Placas. Los vídeos resultantes ofrecieron modelos pausibles de explicación de las observaciones, diferenciando de forma expresa entre las conclusiones más seguras y las menos seguras, y no se detectaron en ningún equipo las habituales concepciones erróneas en este tipo de actividades, como la identificación de las placas litosféricas con los continentes, o la confusión entre orógenos y dorsales (Marques, 1998) .

En previsión de los riesgos que advierten otros autores (Viennot, 2011; Simarro, Couso y Pinto 2013) en las actividades ECBI por lo que respecta a la sistematización de conocimientos y la construcción de modelos abstractos, se han aplicado el protocolo TPoP y los andamios didácticos lingüísticos. El protocolo TPoP tenía por objetivo insertar espacios de transferencia y sistematización (**los talleres**) y de recopilación y reflexión (**portfolios**) en la secuencia de indagación. Los alumnos han valorado positivamente ambos espacios como apoyo para la indagación y muestran -tanto en los portfolios como en los productos finales (vídeos)- un muy buen dominio del vocabulario específico y un conocimiento profundo de los modelos científicos sobre la Deriva Continental y la Tectónica de Placas. Aunque se hace difícil de cuantificar el efecto de este protocolo en la adquisición de habilidades y conceptos, aparecen en gran parte de los portfolios esquemas que relacionan el contenido de los talleres con los datos del proyecto de indagación. El ambiente de trabajo en el aula ha mejorado

substantialmente, especialmente en lo que respecta el liderazgo durante la actividad, que ha estado más repartido entre el alumnado respecto a otras actividades ECBI anteriores.

La inclusión de **eventos de comunicación** (comunicación informal, debate, vídeo científico) y **andamios lingüísticos** (vocabulario específico, andamios de análisis) pretende la reformulación frecuente de los modelos y las relaciones entre los elementos que los componen. Esta conexión entre la indagación y la modelización mediante el uso de andamios lingüísticos ha sido expuesta por otros autores anteriormente (Sanmartí *et al*, 1999) y aplicada en experiencias previas del proyecto C3 (Domènech, 2013, Domènech, enviado para su publicación). En esta experiencia, hemos detectado que los alumnos negocian significados en los eventos de comunicación informal (discusión en el trabajo en equipo), llegando a agitadas discusiones en el debate. Aunque el hecho que las discusiones sean agitadas no sea garantía de aprendizaje, consideramos que sí son un síntoma de implicación y apropiación de la actividad, algo fundamental para la adquisición profunda de modelos científicos. Los alumnos afirman que la estructura lingüística de las fichas de análisis ha resultado algo engorrosa al inicio de la actividad, pero aceptan que les ha obligado a trabajar de forma más organizada y estructurar mejor sus razonamientos en las fichas siguientes. Algunos apoyos (como la lista de vocabulario específico obligatorio en el vídeo) no han sido bien valorados por los alumnos, ya que añadían dificultad, pero consideramos que obligan al alumnado a contextualizar el vocabulario abstracto en su modelo concreto, algo que estamos trabajando en otras actividades ECBI (Domènech, en prensa).

Situaciones de interés observadas con respecto a la Naturaleza de la Ciencia

La actividad ha provocado situaciones que constituyen una aproximación a la investigación científica real, algo importante, pues varios autores constatan que el alumnado presenta concepciones erróneas respecto a la naturaleza del conocimiento científico (Fernández, Gil, Carrascosa, Cachapuz y Praia, 2002). En particular, el diseño abierto de la actividad provoca situaciones de incerteza que han emergido en las conversaciones en el aula y en los portfolios de los alumnos, cuestiones epistemológicas que inciden en la Naturaleza de la Ciencia:

- ¿Es correcto dejar sin explicar algún dato incongruente, y mantener el modelo aunque no explique ese dato?
- ¿Cómo elegir entre dos modelos igualmente válidos? ¿Deben exponerse ambos?
- ¿Cómo seleccionar qué tipo de datos son más fiables o significativos? (¿Los fósiles lo son más que los terremotos?).

Conclusiones

Consideramos que las estrategias didácticas usadas (Protocolo TPoP y eventos de comunicación) pueden ser de utilidad en otras actividades ECBI y que la secuencia didáctica proporciona al alumnado un contexto que constituye una aproximación razonable a la investigación científica. A continuación recogemos brevemente algunas características de la secuencia didáctica propuesta relevantes en estos sentido, que consideramos que pueden ser transferibles al diseño de nuevas actividades ECBI:

- *Las evidencias y el conflicto cognitivo, inicio del proceso.* La investigación se inicia de modo prospectivo, a partir de los datos ofrecidos, que son los que generan nuevas preguntas (los modelos escolares lineales definidos como “método científico” suelen iniciar con una pregunta u objetivo concreta, obviando que ésta se define siempre de datos, concepciones o situaciones previas que provocan conflicto cognitivo).

- *La ciencia como proceso, no como producto acabado.* Nuevos datos se incorporan a lo largo de la investigación, modificando las interpretaciones anteriores de otros datos para construir un modelo explicativo global, que se mantiene como provisional.
- *Un conocimiento contextualizado y serendípico.* Los datos son a menudo incompletos y en ocasiones permiten sólo conclusiones provisionales o con bajo nivel de certeza, y raramente un dato por sí solo permite sacar conclusiones, si no es integrado de forma compleja con otros datos. Además, el orden de aparición de los datos configura un camino de investigación único e irrepetible.
- *Una creación de conocimiento no cartesiana, creativa.* Los distintos pasos de la investigación (observación, análisis, conclusión,...) se interrelacionan entre sí en un proceso en espiral que no tiene, realmente, ningún inicio ni final definidos, y puede recorrer itinerarios diversos sujetos a la creatividad y no por ello incorrectos científicamente.
- *La ciencia como constructo social.* Existen eventos de comunicación informal y negociación social de modelos científicos en varios formatos en el que participa, también...la capacidad de convicción de sus participantes o las presiones sociales. Las múltiples organizaciones sociales del aula significan una aportación a esta concepción.
- *La ciencia es una aventura cognitiva.* No existe una “solución correcta” que se pueda consultar para comparar si la nuestra lo es. Sólo “procesos correctos”, “explicaciones razonables” y “consensos de la comunidad”. Este último es un punto importante, ya que enseñar al alumnado a gestionar la incertidumbre (distinguir distintos grados de incertidumbre, tomar decisiones a partir de datos aproximados) es un aspecto fundamental en su educación científica. Por esa razón la actividad no ofrece la simulación a partir de la que se han generado las evidencias, ni una propuesta de “solución correcta”.

Propuestas de desarrollo

El lector encontrará de interés otras dos actividades también pertenecientes al proyecto C3 para la misma materia y con semejante aproximación: *Drug research*⁶, sobre mitosis, cáncer e investigación biomédica (Domènech, enviado para su publicación) y *Caminalcules*⁷, sobre evolución, taxonomía y estratigrafía (Domènech, 2014), además de otras para otros niveles educativos o en elaboración⁸.

Como propuestas de ampliación y mejora, el profesorado puede encontrar útil incorporar como Taller análisis de casos reales de estructuras geológicas de origen tectónico (fosa de las Marianas, Islandia,...) o, preferiblemente, otros referentes locales, para ir de lo local a lo global, como sugieren otros autores para el estudio de la Tectónica de Placas (Pedrinaci, 1998), o incorporar en la actividad datos relativos a pliegues y fallas. En la bibliografía están disponibles ideas para profundizar en los aspectos epistemológicos (Praia, 1996; Álvarez, 2012; Pérez-Malvárez *et al*, 2012) los antecedentes y progresos científicos en relación con la deriva continental y la tectónica de placas (García, 2012, Anguita, 1995), así como reflexiones en lo referente a la secuenciación didáctica de la Tectónica de Placas (Pedrinaci, 1998; Sequeiros, García y Pedrinaci, 1995) y experimentos o actividades de aula destinados a ilustrar los conceptos científicos del modelo de la tectónica de placas (Castelhano, Madaleno y Azinhaga

⁶<https://sites.google.com/a/xtec.cat/drugresearch/>

⁷<https://sites.google.com/a/xtec.cat/caminalcules/>

⁸Proyecto C3, Creación del Conocimiento Científico <https://sites.google.com/a/xtec.cat/c3/home>

2013; García, 1994 y 1996; Praia, 1996) o nuevas tecnologías de estudio de aplicación al tema (Ganne y de Andrade, 2013).

Agradecimientos

El autor agradece la colaboración del alumnado y profesorado del Institut de Vilanova del Vallès. La reflexión metodológica contenida en este artículo se enmarca en el trabajo del grupo LIEC (Llenguatge i Ensenyament de les Ciències) de la Universitat Autònoma de Barcelona, grupo de investigación consolidado (referencia 2014SGR1492) por AGAUR (Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca) y financiada por el Ministerio de Educación y Ciencia (referencia EDU-2012-38022-C02-02).

Referencias bibliográficas

- Álvarez, E. (2012). Epistemología y gnoseología de la deriva continental, sobre su aceptación y de su rechazo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20 (1), 64-78.
- Anguita, F. (1995). La evolución de la tectónica de placas: el nuevo interior de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 3 (3), 137-148.
- Bogner, F., boudalis, A.K. y sotiriou, S. (Eds.) *Pathway. Best Practices of Inquiry-Based Science Education. Methods and Activities*. (2012). Epinoia, Pallini Attikis, Greece.
- Caamaño, A. (2012). ¿Cómo introducir la indagación en el aula? Los trabajos prácticos investigativos. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 70, 83-91.
- Castelhano, P., Madaleno, I. y Azinhaga, P. (2013). ¿La Tierra crece? ¡Tal vez! *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 10(1), 120-132.
- Dodge, B. (1995). WebQuests: A Technique for Internet-Based Learning. *The Distance Educator*, 1(2), 10-13.
- Domènech, J. (2013). Escritura de artículos y diseño de experimentos: andamios para escribir, pensar y actuar en el laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, número especial. Congreso ENSE Ciencias (2013), 1085-1089.
- Domènech, J. (2014). Una secuencia didáctica en contexto sobre taxonomía, evolución y estratigrafía basada en la indagación y la comunicación científica. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 78, 51-59.
- Domènech, J. (enviado para su publicación). Drug Research: una secuencia contextualizada de indagación sobre mitosis, cáncer y creación del conocimiento científico. *Investigación en la escuela*.
- Domènech, J. (en prensa). Objetos, palabras y contextos. Una indagación multimedia para descodificar científicamente el mundo de las plantas. *Aula de secundaria*.
- España, E., Rueda, J.A. y Blanco, A. (2013) Juegos de rol sobre el calentamiento global. Actividades de enseñanza realizadas por estudiantes de ciencias del Máster en Profesorado de Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 10, 763-779.
- Fernández, I., Gil, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A. y Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 477-488.
- Ganne, J. y de Andrade, V. (2013). Cracking the mystery of how our planet formed. *Science in school*, 26, 14-19.
- García, C.M. (2012) Alfred Lothar Wegener (1880–1930), una vida para la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20 (1), 4-26.

- García, C.M. (1996). La historia de la geología como hilo conductor de una unidad didáctica: tectónica de placas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4(1), 59-66.
- García, C.M. (1994). Simulación del proceso de deriva polar e inversión magnética. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra* 2 (1), 271-272.
- González, F.J. (1998). El movimiento de las placas en la ESO. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 18, 31-36.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 299-313.
- Lange, C. y Zawicki, J. (2012). Wegener: las piezas perdidas. *Enseñanza de las ciencias de la Tierra*, 20 (1), 88-95.
- Marques, L. (1998). De la distribución de los continentes a la tectónica de placas: concepciones de los alumnos. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 18, 19-30.
- Osborne, J. y Dillon, J. (2008). *Science Education in Europe: Critical Reflections. Report to the Nuffield Foundation*.
- Pedrinaci, E. (1998). Procesos geológicos internos: entre el fijismo y la Tierra como sistema. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 18, 7-18.
- Pedrinaci, E., Caamaño, A., Cañal, P., y de Pro, A. (2012). *11 ideas clave. El desarrollo de la competencia científica*. Graó, Barcelona
- Pérez-Malvárez, C., Bueno-Hernández, A. y Ruiz-Gutiérrez, R. (2012) Las ideas biogeográficas de Alfred Lothar Wegener. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20 (1), 79-87.
- Praia, J.F. (1996). Epistemología e Historia de la Ciencia: contribuciones a la planificación didáctica: la deriva continental. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4 (1), 30-37.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Heriksson, H. y Hemmo, V. (2006). *Science Education Now: a new pedagogy for the future of Europe. Report for the European Comission*.
- Sanmartí, N., Izquierdo, M. y García, P. (1999) Hablar y escribir. Una condición necesaria para escribir ciencias. *Cuadernos de pedagogía*, 281, 54-58.
- Sanmartí, N., Burgoa, B. y Nuño, T. (2011) ¿Por qué el alumnado tiene dificultad para utilizar sus conocimientos científicos escolares en situaciones cotidianas? *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 67, 62-69.
- Sequeiros, L., García, E. y Pedrinaci, E. (1995). Tectónica de placas y evolución biológica: construcción de un paradigma e implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 3(1), 14-22.
- Simarro, C., Couso, D. y Pintó, R. (2013). Indagació basada en la modelització: un marc per al treball pràctic. *Ciències*, 25, 35-43.
- Viennot, L. (2011). Els molts reptes d'un ensenyament de les Ciències basat en la indagació: ens aportarà múltiples beneficis en l'aprenentatge? *Ciències*, 18, 22-36.